心理学报 2022, Vol. 54, No. 5, 441−452
Acta Psychologica Sinica

https://doi.org/10.3724/SP.J.1041.2022.00441

中文词类信息在副中央凹中的加工*

鹿子佳 符 颖 张慢慢 臧传丽 白学军

(教育部人文社会科学重点研究基地天津师范大学心理与行为研究院; 天津师范大学心理学部, 天津 300387)

摘 要 本研究采用边界范式, 通过操纵预视词和目标词的词类一致性探讨中文阅读中副中央凹中能否加工词类信息。实验采用单因素 3 水平设计, 三种预视条件: 一致预视、词类不违背预视、词类违背预视。对实验数据进行线性混合模型及贝叶斯分析发现: 词类违背条件和词类不违背条件下对目标词的注视时间和注视概率没有显著差异, 即无词类信息的预视效应。该结果倾向于支持序列注意转移模型, 眼动控制模型的未来发展应更加关注灵活性和普适性。

关键词 中文阅读, 边界范式, 词类预视效应, 眼动控制模型

分类号 B842

1 引言

在文本阅读过程中, 读者可以在一次注视中同时获得落在中央凹和副中央凹处词汇的信息。中央凹是视网膜中视敏度最高的区域, 对应约 1°~2°视角的文本。在中央凹两侧各对应约 5°视角文本的区域是副中央凹, 这一区域的视敏度从靠近中央凹的地方开始逐渐下降, 距离中央凹越远文本视觉成像越模糊(白学军 等, 2011)。受此影响, 读者仅可以加工副中央凹单词的部分信息。

有大量研究探讨哪些类型的信息可以在副中央凹中得到加工。研究者们普遍认为低水平的视觉信息如正字法信息(Liu et al., 2002)和词汇与亚词汇的语音信息(Ashby et al., 2006)可在副中央凹中得到稳定预加工, 这一结论具有跨语言的普遍性。但高水平的语义信息研究结果存在一定争议: 在拼音文字中语义信息难以在副中央凹中进行提取(Rayner et al., 1986), 只有当预视词首字母大写(Rayner & Schotter, 2014)、预视词和目标词的语义相关程度非常高(同义词或反义词) (Schotter, 2013; Schotter & Jia, 2016)或高预测性上下文条件下(Schotter et al., 2015), 读者可以从副中央凹中提取预视词的语义信息; 但是在非拼音文字如中文中结果却恰恰相反, 不论是独体字(Yan et al., 2009)还是有偏旁部首的合体字(Yan et al., 2012), 中文读者可以从副中央凹提取语义信息。近年来, 研究者开始关注句法作为高水平信息能否在副中央凹中得到加工(Brothers & Traxler, 2016; Snell et al., 2017; Veldre & Andrews, 2018; Veldre et al., 2020)。预视类型可以反映副中央凹词汇的加工深度(张慢慢 等, 2020), 研究副中央凹加工信息的类型有助于我们理解阅读模式, 并帮助构建眼动控制模型。

研究副中央凹预视通常采用注视跟随边界范式(Rayner, 1975)。这一范式的核心观点是: 当读者眼睛越过一个隐形的边界时, 处于目标词位置上的预视词会变成正确的目标词。通过操纵预视词和目标词的某种属性, 来考察这一属性是否能通过副中央凹获得。例如, 在“春天是万物复苏的季节”一句中, 假如目标词是“物”且研究者想要探究正字法信息能否在副中央凹加工中获得, 可以比较“物”在“春天是万扬(物)复苏的季节”和“春天是万明(物)复苏的季节”两句中的注视时间。读者真正注视的总

收稿日期: 2021-05-19

* 国家自然科学基金项目(31800920, 31571122); 教育部“长江学者奖励计划”特聘教授项目(T2017120); 全国文化名家暨四个一批人才项目。

通信作者: 白学军, E-mail: bxuejun@126.com; 臧传丽, E-mail: zangchuanli@163.com

是“物”。如果前者小于后者，那么说明读者可以从副中央凹提取到正字法信息。这一由于预视词和目标词拥有共同的特征，在被注视前就获得了这一信息而促进对目标词加工的现象，被称为副中央凹预视效应(preview benefit effect)。

想要探讨句法信息在副中央凹中的加工，可以通过操纵单词的句法类型信息来实现，句法类型信息又称为词类信息。词类是指单词在语法上的分类，体现了词的功能和用法(沈家煊，2009)，通常包括名词、动词、形容词、介词等类别，不同词类的词可以充当不同的句子成分(如动词常用做谓语)。操纵预视词和目标词的词类一致性，通过构造词类违背与词类不违背的预视词，探讨读者能否在副中央凹中提取到词类信息这一高水平的词汇信息。

近年来，研究者们采用边界范式进行了一系列研究，探讨拼音文字词类信息在副中央凹的加工情况。Angele 和 Rayner (2013)发现，无论英文中非常常见的冠词 the 的出现是否符合句法规则，对它总是极易跳读。Angele 等人(2014)将这一结论推广到其他高频三字母词上。也就是说，对于频率很高的短词来讲，词频的效应压过了词类违背的效应。然而，研究发现对于词频和词长更为普遍的单词而言，词类信息可以在副中央凹得到一定的加工。Brothers 和 Traxler (2016)将目标词词长扩大到 4~7 个字母时，发现词类信息可以影响词跳读，即词类违背预视条件下对目标词的跳读率显著低于词类不违背的条件中(3%)。Veldre 和 Andrews (2018)虽然没有发现词类一致性影响跳读率，但是发现其影响了注视时间：词类违背条件下对目标词的凝视时间和回视路径时间长于词类不违背条件。Snell 等人(2017)以荷兰语为材料的研究发现，词类一致性不仅影响阅读时对目标词的跳读率，也会影响注视时间。上述研究表明，在拼音文字中词类信息可以在副中央凹中得到加工，即支持句法信息的提取可以发生在词汇加工的早期阶段。

中文有关词类信息在副中央凹的研究较少。Zang 等人(2018)在与 the 地位相当的字“的”上，也发现了与其相似的结果。后来，在 Zang, Du 等人(2019)的实验一中，研究者操纵了预视词的词频和词类一致性，发现当预视词是高频词时，词类的一致性会影响跳读率：在高频目标词的一致预视条件(高频、词类一致)下对目标词的跳读率高于低频目标词的替换预视条件(高频、词类违背)。在对目标词的注视时间上，词类一致性没有引起显著影响。然而在此实验中，是通过比较一致预视和非一致预视(替换预视)条件下得到的词类信息加工的效应量，两者之间不止词类信息不一致还包括正字法等其他属性的差异，不能保证这一差异是词类信息违背导致，因此句法信息能否在副中央凹进行提取还未可知。目前中文阅读还没有直接探讨这一问题的研究。

研究词类信息在副中央凹的加工情况对于推动眼动控制模型的发展具有重要意义。当前最具影响力的两大模型序列注意转移模型(sequential attention shift, SAS)和平行分级加工模型(parallel graded processing, PG)对于高水平词汇信息加工能否在词汇加工的早期阶段进行持有不同的看法，已成为争论的焦点。

SAS 模型认为单词是按照严格的顺序以串行方式加工的。它的核心假设是注意力一次只能集中到一个单词上，只有加工完当前单词后才会转移到下一个单词。E-Z 读者模型是 SAS 最著名的代表。E-Z 读者版本 10 中加入了后词汇整合阶段(Reichle et al., 2009)，增加了对高水平信息加工的假设：熟悉性检验(L_1)和词汇通达阶段(L_2)完成之后才开始词汇整合阶段(I)，包括检查单词的句法、语义及其合理性等高水平信息加工过程。E-Z 读者模型对阅读中的眼动过程作出如下假设：完成当前注视词 n 的 L_1 阶段之后，L_2 阶段($t(L_2) \approx 70$ ms)和眼跳计划(不稳定阶段 M_1, $t(M_1)$ = 125 ms；稳定阶段 M_2, $t(M_2)$ = 25 ms)同时进行；L_2 阶段完成之后，开始 I 阶段加工伴随注意资源向 n+1 转移；在完成眼跳计划之前，即使眼睛仍然注视词 n，但是 n+1 的部分信息已经在副中央凹中得以加工，且这个时间差即为对 n+1 预视加工的时间。可以看出 E-Z 读者模型认为，I 阶段(高水平信息加工)发生于 L_2 之后，时间进程上比较靠后；且副中央凹加工的时间受到 n 加工难度的影响(n 加工越困难，需要的 L_1 和 L_2 时间越长，n+1 预加工的时间就越短)，限制了 n+1 预加工的深度。在较短时间内加工到时间进程靠后的高水平信息是很难完成的事，因此 E-Z 读者模型并不支持高水平信息在副中央凹中的加工。

与 SAS 模型关于注意分配有很大区别的是 PG 模型。PG 模型假设同时加工知觉广度内的多个单词，每个单词分配到的注意资源受到注意力梯度的调节，从中心到边缘呈梯度下降。PG 模型的代表有 SWIFT 模型(Engbert et al., 2002)和 OB1 模型(Snell et al., 2018)。SWIFT 模型基于动态场理论，假设知

觉广度内的每个单词都有一个激活值，激活程度越高识别的程度越深。激活在预加工的第一个阶段增加，在词汇加工完成的第二个阶段减少，在单词被完全识别后趋于 0。SWIFT 认为，注意力分布受到注视单词加工难度的调节。当前注视词加工难度越低(例如，高频词、高预测词)，副中央凹分到的注意资源就越多，这会提高副中央凹词汇加工的深度。因此，SWIFT 允许高水平信息在副中央凹中的加工。与 SWIFT 模型认为单词水平上的平行加工不同，OB1 模型支持基于字母水平上的平行加工。OB1 模型整合了单词加工的相对位置编码理论(relative-position coding)和文本阅读的 PG 模型。这一基于正字法重叠的模型允许对当前视野中的 5 个单词进行同时加工，激活程度受到视敏度、离心率、拥挤程度以及注视点位置的影响，激活程度越高识别的越快。因此 OB1 模型也允许高水平词汇信息在副中央凹中得到加工。

显然，拼音文字对于词类信息在副中央凹加工的研究结果支持了 PG 模型。然而，还存在两个可以继续探讨的问题：第一，这一结论是否具有跨语言体系的普遍性，可否推广到中文；第二，虽然 PG 模型允许词类信息在副中央凹中的加工，但是其只用激活程度整体描述单词视觉信息、词汇信息的加工以及整合情况，还应该对高水平信息如何在副中央凹加工给出更多的解释。因此，需要更多的实验证据来丰富眼动控制模型对高水平词汇信息加工模块的加工假设。

本实验采用边界范式，通过直接操纵预视词与目标词的词类信息一致性，考察中文阅读中读者能否从副中央凹提取词类信息。实验共有三种预视条件：(1)一致预视(目标词与预视词一致)；(2)词类不违背预视(预视词与目标词有且仅有词类一致，在本实验中都是名词)；(3)词类违背预视(预视词与目标词词类不一致，在本实验中目标词为名词，预视词为动词)。词类不违背预视与词类违背预视条件下，对目标词注视时间和注视概率之间的差异即为词类信息加工的效应量，如果有差异，说明读者可以从副中央凹提取到词类信息，反之则不能。

已知英语单词具有丰富的屈折变化和派生变化，这为词类信息的提取提供了便利，这一特点是中文所不具备的。所谓屈折变化，指的是在不改变词的语法属性的基础上表示各类语法关系，包括名词的复数变化，动词的人称、时态变化，形容词、副词的比较级和最高级变化等。所谓派生变化，指的是在词根或词干的前后增加词缀以构成新词，比如名词到形容词的后缀常有-ful, -ly, -less 等(刘丰, 魏渊, 2005)。这些特点使得英文读者在进行自下而上的词汇识别时，可以较容易地提取到单词的词法信息，进而提高句子阅读中单词句法信息的通达速度。而在中文中，词汇既没有屈折变化(如“包装”一词既可以用在过去，也可以用在将来)，也没有派生变化(如“包装”既可以作为名词，也可以作为动词)。基于此，假设中文阅读过程中读者不能从副中央凹提取到词类信息，即词类违背条件和词类不违背条件下对目标词的注视情况无显著差异。

2　方法

2.1　被试

120 名天津师范大学在校学生参加了实验，平均年龄 20.6 岁(SD = 1.56)，其中男生 21 名，女生 99 名。他们的裸眼视力或矫正视力正常，母语均为汉语，且无明显阅读障碍。被试平均每天的阅读时间(包括纸质书与电子书)为 5 小时。所有被试均不知道实验目的。完成实验后被试获得 10 元报酬。

2.2　实验设计

本实验为单因素三水平的被试内设计。三个水平分别是一致预视条件、词类不违背预视条件和词类违背预视条件。

2.3　实验材料

已知词频会影响 n+1 预视效应(Zang, Du, et al., 2019)，结合《现代汉语词典(第 6 版)》(2012)中的词性注释(如，标注“动”为动词用法；“名”为名词用法)，和基于电影对白编制的汉语字词语料库(Cai & Brysbaert, 2010)中的词频统计，选出词频高于 4 次/百万的 45 个单字名词(平均词频：M = 127.35 次/百万，SD = 182.55；平均笔画数：M = 9.04, SD = 3.37)，将其作为目标词。根据选出的 45 个单字名词，选择另外 45 个单字名词(平均词频，M = 124.05 次/百万，SD = 164.33；平均笔画数：M = 9.07, SD = 2.67)和 45 个单字动词(平均词频，M = 121.38 次/百万，SD = 134.95；平均笔画数：M = 9.24, SD = 2.55)分别作为条件 2、3 的预视词。三种条件之间，词频差异不显著，F(2, 134) = 0.015, p = 0.985；笔画数差异不显著，F(2, 134) = 0.065, p = 0.937。除此之外，为了避免其他因素干扰条件 23 预视词和目标词之间的关系，我们还控制了预视词的语音和语义，使其与目标词不同。分别由 10 名大学生评定条件 12 和 13 预视词的语音和语义相关性(采用 4 点评分，1

表 1 预视词词类熟悉性、词频、笔画数的平均数和标准差

预视条件	预视词词类	词类熟悉性(用作名词的概率)	词频	笔画数	语音相关性	语义相关性
1 一致预视	名词	95.74% (10.07%)	127.35 (182.55)	9.04 (3.37)		
2 词类不违背预视	名词	94.74% (10.39%)	124.05 (164.33)	9.07 (2.67)	1.19 (0.19)	1.23 (0.29)
3 词类违背预视	动词	2.25% (6.16%)	121.38 (134.95)	9.24 (2.55)	1.21 (0.18)	1.17 (0.24)

代表“完全不相关”, 4 代表“完全一致”)。结果发现, 条件 12 语音相关性(M = 1.19, SD = 0.19)与条件 13 语音相关性(M = 1.21, SD = 0.18)差异不显著, t(44) = −0.51, p = 0.845; 条件 12 语义相关性(M = 1.23, SD = 0.29)与条件 13 语义相关性(M = 1.17, SD = 0.24)差异也不显著, t(44) = 1.15, p = 0.173。这说明条件 23 下预视词与目标词既不存在语音相关也不存在语义相关。

由于中文存在名词动词化现象, 某些名词也有动词的用法, 比如“水”在“水一贴”中是动词用法(高芳, 徐盛桓, 2000), 但我们平时更熟悉它作为名词出现。因此需要对选出的 135 个单字词进行词类熟悉性判断, 即判断日常使用时, 其作为名词用法的概率有多大(填写百分比)。16 名大学生参加了此次评定。评定结果为, 名词用作名词的概率显著高于动词用作名词的概率, F (2, 134) = 1574.46, p < 0.001。事后检验发现: 条件 1 中目标名词(M = 95.74%, SD = 10.07%)和条件 2 中预视名词(M = 94.74%, SD = 10.39%)之间差异不显著, 均显著高于条件 3 中预视动词(M = 2.25%, SD = 6.16%)。由此, 我们可以将评定的动词用于词类违背条件中。

预视词属性的平均数和标准差见表 1。

将 45 个目标名词编入 45 个句子框架中, 目标词位于句中位置, 不可位于句子的前后各五个字中, 句子平均字数为 18 个字。将匹配好词频和笔画数的另外 45 个名词和 45 个动词放入相同的句子框架中, 构成三种水平下的实验句。实验材料举例见表 2。例子中, 条件 1 为一致预视条件, 目标词和预视词都是“虾”; 条件 2 为词类不违背预视, 预视词“狼”与前半句(今天我准备炸些……)无法构成语义合理的连贯句, 但它的句法类型是合理的(根据前半句推测即将出现的词为名词, 而“狼”是名词); 条件 3 为词类违背预视, 预视词“割”与前半句无法构成语义合理的连贯句, 且句法类型也不合理(根据前半句推测即将出现的词为名词, 而“割”是动词)。因此, 通过比较条件 2 和 3, 我们可得到词类信息在副中央凹加工情况。

实验句子评定。首先由 15 名大学生对一致预视句子的整体通顺性进行 5 点评分, “1”代表非常不通顺, “5”代表非常通顺。结果发现: 整句通顺性平均数为 4.38 (SD = 0.31), 均高于 3.5, 说明句子通顺。其次, 由 30 名大学生对目标词(或预视词)及前半句话的通顺性进行 5 点评分(如: 今天我准备炸些虾……)。将句子分成三组(每组 10 人), 每组包含三种条件下的句子各 15 句, 进行平衡。结果发现, 条件 1 (M = 4.57, SD = 0.34)与条件 2 (M = 1.70, SD = 0.54)的通顺性差异显著(t(44) = 30.22, p = 0.020), 但条件 2 和 3 (M = 1.80, SD = 0.43)之间差异不显著(t(44) = −1.02, p = 0.471), 说明变量操纵有效, 条件 2 和 3 中的预视词会造成加工困难。再次, 选取 15 名大学生对目标词的预测性进行评定。即根据目标词之前的前半句话, 填写最先想到的内容。结果发现对于目标词可以做出中等程度的预测(M = 24%, SD = 27%)。最后, 选取 15 名同学对目标词进行词性预测性评定, 即根据目标词之前的句子内容, 判断即将出现的词是什么词性。结果发现, 平均 96%的被试认为即将出现的内容是一个名词(SD = 7.57%)。注意, 参与通顺性、预测性和词性预测性的被试各不相同, 每位被试仅可参加一次材料评定, 且不参与后续实验。

表 2 实验材料举例(加黑字体为目标词和预视词)

预视条件	句子
1 一致预视	今天我准备炸些 ¦ **虾**来招待我的好朋友们。
2 词类不违背预视	今天我准备炸些 ¦ **狼**来招待我的好朋友们。
3 词类违背预视	今天我准备炸些 ¦ **割**来招待我的好朋友们。

2.4 实验仪器

实验采用 SR Research EyeLink 1000 plus 眼动仪记录被试的眼动轨迹, 采样率为 1000 Hz。实验刺激呈现在被试机上, 屏幕的刷新率为 120 Hz, 屏幕的分辨率为 1024×768 像素。实验过程中仅记录被试右眼的眼动数据。被试眼睛与屏幕间的距离约为 65 cm。句子以宋体 25 号字呈现, 每个汉字大小约为 33×33 像素, 每个汉字形成的视角约为 1.1°。

2.5 实验程序

实验在相对较安静的实验室环境中进行。每个

被试在主试的指导下单独施测。被试来到实验室后，坐在被试机前，将下巴托和额头贴调至适合的高度，并被告知实验过程中尽量避免移动头部。主试向被试说明实验的流程，提醒被试按照自己的阅读习惯和阅读速度进行阅读。打开实验程序后，呈现指导语: “下面将在屏幕中呈现一系列汉语句子。每一屏只呈现一句话，请你认真阅读并理解每句话的意思，理解之后按空格键。另外，有的句子后面会有问答题。请你根据上一句阅读的句子的意思做出是或否的判断。‘是’按 F 键，‘否’按 J 键。”随后，采用三点校准对被试眼睛进行校准，校准误差均在 0.25 以内即可通过。校准成功后，被试按空格键翻页并开始阅读练习句。在确认被试熟悉实验流程之后，则进入正式实验。眼动仪将会自动记录被试的按键反应和眼动数据。

本实验使用边界范式，边界设置在目标词左侧的空白处。当读者眼睛越过边界时，预视词均被正确的目标词所替代。在实验中，每组句子中的三种条件按照拉丁方设计分成 3 个 block，每个被试阅读其中的一个 block (每个 block 包括三种条件句各 15 句)。正式实验前首先呈现 3 个练习句，正式实验过程中有 45 个实验句和 18 个填充句，其中有 21 个句子后设有阅读理解判断题，句子随机呈现。实验过程持续大约 15 分钟。

3　结果

被试回答问题的平均正确率为 95%，最低为 85%。表明被试均认真阅读句子并理解了句意。根据以往研究过短或过长的注视不能反映加工情况 (Rayner, 2009)，因此，删除 80 ms 到 1200 ms 之外的注视点。同时删除了以下项目: (1)被试在句子上的注视点少于 3 个; (2) 3 个标准差之外的数据; (3)眼睛第一次通过边界时或注视目标词时眨眼; (4)边界后的预视词过早或延迟变化。总共剔除数据约占总数据的 17.7%。本实验中，我们操纵的目标词(如例中的“虾”)是单字词，目标词被跳读的概率很高，因此我们不仅分析了目标词 n 的数据，还分析了目标前一个字 $n-1$ (如例中的“些”)和目标词后一个字 $n+1$ (如例中的“来”)的数据。

对兴趣区进行了注视时间和注视概率的分析，采用指标有: 首次注视时间(first fixation duration)指在首次通过阅读中某个兴趣区内的首个注视点的注视时间; 凝视时间(gaze duration)指从首次注视点开始到注视点首次离开当前兴趣区之间的持续时间; 回视路径时间(go-past reading time)指从某个兴趣区的第一次注视开始，到注视点落到该兴趣区右侧的区域为止(不包括这一注视点)，之间所有的注视点的持续时间的总和，不仅反映词汇通达的过程，还可以反映后期句子整合的加工过程; 跳读率(skipping rate)指首次阅读中兴趣区被跳读的概率; 回视出比率(regression-out)指阅读中从当前兴趣区引发回视(越过当前兴趣区左侧边界)的被试比率，一般限于对该兴趣区的首次通过阅读过程，可以反映读者在兴趣区的早期加工阶段遇到的加工困难情况; 回视入比率(regression-in)指在阅读中从后面区域回视到当前兴趣区的被试的比率(闫国利等, 2013)。

本实验数据采用线性混合模型(Linear Mixed Model, LMM)进行分析。它通过对每个被试在每个项目上的数据进行加权，能非常有效地解决非平衡设计的问题。LMM 是在 R 语言环境(R Development Core Team, 2018)下使用 lme4 数据处理包进行数据分析，它指定被试和项目作为交叉随机效应。为保证数据线性，对注视时间进行 log 转换。如果随机效应最大模型不能成功拟合，运行模型逐渐减少，首先移除项目的相关，然后移除项目的斜率，如果还不能拟合成功，再按顺序移除被试的相关和斜率，直至拟合成功。本实验中的线性模型是将预视条件作为固定因素来进行分析的。

3.1　目标前字的分析

目标前字眼动指标的平均数和标准差见表 3，统计检验结果见表 4。

表 3　目标前字眼动指标平均数和标准差

分析指标	1 一致预视	2 词类不违背预视	3 词类违背预视
首次注视时间	228 (44)	230 (48)	232 (47)
凝视时间	231 (46)	235 (50)	235 (49)
回视路径时间	277 (96)	302 (108)	301 (126)
跳读率	0.59 (0.19)	0.57 (0.17)	0.57 (0.18)
回视出比率	0.14 (0.21)	0.18 (0.21)	0.18 (0.23)
回视入比率	0.12 (0.18)	0.26 (0.22)	0.22 (0.22)

注: 括号内为标准差，注视时间的单位为 ms，下同。

首先，一致预视的副中央凹−中央凹效应(注视词右侧的词的特性会对中央凹处词的注视时间产生影响): 注视时间上，预视词与目标词一致时(条件 1)对目标前字的回视路径时间显著短于预视词与目标词不一致时(条件 2) (b = 0.07, SE = 0.03, t = 2.40, p = 0.018, 95% CI = [0.01, 0.12])。其他注视时

间指标上的差异不显著(|t|s < 0.51, ps > 0.61)。注视概率上，预视词与目标词一致时(条件 1)对目标前字的回视出比率和回视入比率都显著低于预视词和目标词不一致时(条件 2) (回视出: b = 0.38, SE = 0.16, z = 2.33, p = 0.020, 95% CI = [0.06, 0.70]; 回视入: b = 1.05, SE = 0.16, z = 6.62, p < 0.001, 95% CI = [0.74, 1.36])。两种条件下对目标前字的跳读率上没有显著差异(b = −0.09, SE = 0.08, z = −1.18, p = 0.240)。

表 4 不同预视水平在目标前字各指标上的固定效应估计值

分析指标	一致预视效应(1 VS. 2)			词类预视效应(2 VS. 3)		
	b	*SE*	*t/z*	*b*	*SE*	*t/z*
首次注视时间	0.01	0.02	0.51	0.01	0.02	0.64
凝视时间	0.01	0.02	0.51	0.01	0.02	0.35
回视路径时间	0.07	0.03	2.40*	−0.02	0.03	−0.59
跳读率	−0.09	0.08	−1.18	−0.02	0.08	−0.23
回视出比率	0.38	0.16	2.33*	−0.08	0.15	−0.53
回视入比率	1.05	0.16	6.62***	−0.21	0.14	−1.55

注: ***表示 p < 0.001, **表示 p < 0.01, *表示 p < 0.05, 下同。

其次，单词 n 的词类一致性对注视前字 n−1 没有显著影响: 单词 n 词类不违背(条件 2)和词类违背(条件 3)时，对 n−1 的注视时间和注视概率没有显著差异(|t|s < 0.64, ps > 0.52; |z|s < 1.55, ps > 0.12)。

3.2 对目标前字的贝叶斯分析

针对目标前字词类不违背与词类违背条件下，所有指标差异的不显著，使用 R 语言中 rstanarm 程序包(Nicenboim & Vasishth, 2016)对所有指标进行线性混合模型的贝叶斯分析。先验分布中截距是以 0 为平均数 15 为标准差的正态分布，斜率是以 0 为平均数 1 为标准差的正态分布，采用 5 个蒙特卡罗马尔可夫链迭代 10000 次对后验分布进行采样，舍弃前 1000 次热身。采用 Savage-Dickey 密度比的方法计算贝叶斯因子，贝叶斯因子 1~3 有较弱证据支持虚无假设，大于 3 有中等强度证据支持虚无假设，大于 10 有较强证据支持虚无假设; 0.33~1 有较弱证据支持备择假设，小于 0.33 有中等强度证据支持备择假设，小于 0.1 有较强证据支持备择假设(胡传鹏等, 2018)。同时，作为对比，也对一致预视与词类不违背条件进行此分析。

结果显示，一致预视与词类不违背条件对比，首次注视时间、凝视时间、回视路径时间、跳读率指标 BF 均大于 10，有较强的证据支持两条件间差异不显著; 有较弱的证据支持回视出比率差异不显著; 有较弱的证据支持回视路径时间差异显著; 有较强的证据支持回视入比率差异显著(首次注视时间: BF = 55; 凝视时间: BF = 46.07; 回视路径时间: BF = 0.59; 跳读率: BF = 28.47; 回视出比率: BF = 2.56; 回视入比率: BF < 0.01)。词类不违背与词类违背条件对比，各指标 BF 均大于 10(首次注视时间: BF = 51.29; 凝视时间: BF = 57.56; 回视路径时间: BF = 31.95; 跳读率: BF = 55.61; 回视出比率: BF = 42.65; 回视入比率: BF = 10.78)，表明有较强证据支持虚无假设即词类违背与否并不影响对目标前字的注视时间和概率。采用不同的先验标准差(0.75, 1.25, 1.5)进行敏感性分析显示并不影响分析结果。

3.3 目标词的分析

在对目标词的早期注视时间(首次注视时间、凝视时间)进行分析时，我们删除了从目标词上发生回视的试次。这是因为当读者眼跳到目标词后，立即产生了回视，被认为存在没有对副中央凹进行很好加工的可能，这次眼跳可能并不能反映副中央凹的加工。因此，我们清除了首次注视时间上约 25%的试次，凝视时间上约 26%的试次。

目标词眼动指标的平均数和标准差见表 5，统计检验结果见表 6。

表 5 目标词眼动指标平均数和标准差

分析指标	1 一致预视	2 词类不违背预视	3 词类违背预视
首次注视时间	241 (56)	309 (94)	297 (80)
凝视时间	248 (63)	336 (120)	331 (102)
回视路径时间	307 (116)	430 (161)	437 (167)
跳读率	0.61 (0.17)	0.54 (0.20)	0.56 (0.22)
回视出比率	0.16 (0.20)	0.27 (0.24)	0.30 (0.26)
回视入比率	0.10 (0.18)	0.17 (0.20)	0.13 (0.17)

表 6 不同预视水平在目标词各指标上的固定效应估计值

分析指标	一致预视效应(1 VS. 2)			词类预视效应(2 VS. 3)		
	b	*SE*	*t/z*	*b*	*SE*	*t/z*
首次注视时间	0.23	0.03	8.27***	−0.03	0.03	−0.90
凝视时间	0.27	0.03	8.38***	−0.01	0.03	−0.27
回视路径时间	0.34	0.03	11.52***	−0.00	0.03	−0.14
跳读率	−0.31	0.08	−3.91***	0.07	0.08	0.85
回视出比率	0.85	0.15	5.62***	0.09	0.13	0.71
回视入比率	0.76	0.18	4.20***	−0.28	0.16	−1.77

所有分析的眼动指标上，一致预视效应显著。相比于预视词与目标词一致(条件 1)时，预视词和

目标词不一致(条件 2)时, 对目标词的注视时间更长(首次注视时间: b = 0.23, SE = 0.03, t = 8.27, p < 0.001, 95% CI = [0.17, 0.28]; 凝视时间: b = 0.27, SE = 0.03, t = 8.38, p < 0.001, 95% CI = [0.21, 0.33]; 回视路径时间: b = 0.34, SE = 0.03, t = 11.52, p < 0.001, 95% CI = [0.29, 0.41]), 跳读率更低(b = −0.31, SE = 0.08, z = −3.91, p < 0.001, 95% CI = [−0.46, −0.15]), 回视概率更高(回视出: b = 0.85, SE = 0.15, z = 5.62, p < 0.001, 95% CI = [0.55, 1.14]; 回视入: b = 0.76, SE = 0.18, z = 4.20, p < 0.001, 95% CI = [0.41, 1.12])。

词类的预视加工: 相比于词类不违背预视(条件 2), 词类违背预视(条件 3)时, 回视入概率在数值上更低(边缘显著: b = −0.28, SE = 0.16, z = −1.77, p = 0.077, 95% CI = [−0.59, 0.03])。在其余眼动指标上差异均不显著(|t|s < 0.90, ps > 0.372; |z|s < 0.85, ps > 0.396)。

3.4　对目标词的贝叶斯分析

同样, 对目标词的一致预视效应和词类预视效应分别进行贝叶斯因子计算。结果显示, 一致预视与词类不违背条件对比, 各指标 BF 均小于 0.1 (首次注视时间: BF < 0. 01; 凝视时间: BF < 0.01; 回视路径时间: BF < 0.01; 跳读率: BF = 0.05; 回视出比率: BF < 0.01; 回视入比率: BF = 0.02), 表明有较强的证据支持备择假设, 即一致预视条件相比于词类不违背预视条件, 对目标词的注视时间更短, 跳读概率更高, 回视概率更低。词类不违背与词类违背条件对比, 各指标 BF 均大于 10(首次注视时间: BF = 25.65; 凝视时间: BF = 37.17; 回视路径时间: BF = 35.72; 跳读率: BF = 40.01; 回视出比率: BF = 33.45; 回视入比率: BF = 10.47), 表明有较强证据支持虚无假设即词类违背与否并不影响对目标词的注视时间和概率。采用不同的先验标准差(0.75, 1.25, 1.5)进行敏感性分析显示并不影响分析结果。

3.5　目标后字的分析

目标后字眼动指标的平均数和标准差见表 7, 统计检验结果见表 8。

目标后字 n+1 上, 在除回视入比率(b = 0.19, SE = 0.18, z = 1.04, p = 0.299)以外的其余眼动指标上, 一致预视的溢出效应都显著: 相比于预视词与目标词一致(条件 1)时, 预视词和目标词不一致(条件 2)时, 对目标后字的注视时间更长(首次注视时间: b = 0.09, SE = 0.02, t = 4.77, p < 0.001, 95% CI = [0.05, 0.12]; 凝视时间: b = 0.1, SE = 0.02, t = 5.34, p < 0.001, 95% CI = [0.06, 0.14]; 回视路径时间: b = 0.32, SE = 0.03, t = 10.22, p < 0.001, 95% CI = [0.26, 0.38]), 跳读率更低(b = −0.29, SE = 0.08, z = −3.85, p < 0.001, 95% CI = [−0.44, −0.14]), 回视出比率更高(b = 1.08, SE = 0.13, z = 8.12, p < 0.001, 95% CI = [0.82, 1.34])。

表 7　目标后字眼动指标平均数和标准差

分析指标	1 一致预视	2 词类不违背预视	3 词类违背预视
首次注视时间	229 (42)	256 (63)	253 (44)
凝视时间	234 (45)	264 (65)	260 (46)
回视路径时间	323 (130)	460 (203)	482 (208)
跳读率	0.56 (0.18)	0.50 (0.20)	0.50 (0.18)
回视出比率	0.20 (0.20)	0.40 (0.27)	0.46 (0.28)
回视入比率	0.10 (0.16)	0.12 (0.16)	0.09 (0.12)

表 8　不同预视水平在目标后字各指标上的固定效应估计值

分析指标	一致预视效应(1 VS. 2)			词类预视效应(2 VS. 3)		
	b	SE	t/z	b	SE	t/z
首次注视时间	0.09	0.02	4.77***	0.00	0.02	0.13
凝视时间	0.10	0.02	5.34***	0.00	0.02	0.02
回视路径时间	0.32	0.03	10.22***	0.06	0.03	2.11*
跳读率	−0.29	0.08	−3.85***	0.02	0.08	0.20
回视出比率	1.08	0.13	8.12***	0.28	0.11	2.43*
回视入比率	0.19	0.18	1.04	−0.16	0.18	−0.91

词类一致性也存在溢出效应: 相比于词类不违背预视(条件 2), 词类违背预视(条件 3)对目标后字的回视路径时间更长(b = 0.06, SE = 0.03, t = 2.11, p = 0.035, 95% CI = [0, 0.12]), 回视出比率更高(b = 0.28, SE = 0.11, z = 2.43, p = 0.015, 95% CI = [0.05, 0.5])。其余指标上无显著差异(|t|s < 0.13, ps > 0.90; |z|s < 0.91, ps > 0.37)。

3.6　对目标后字的贝叶斯分析

同样, 对目标后字的一致预视效应和词类预视效应分别进行贝叶斯因子计算。结果显示, 一致预视与词类不违背条件对比, 除回视入比率以外的其余指标 BF 均小于 0.1 (首次注视时间: BF < 0. 01; 凝视时间: BF < 0.01; 回视路径时间: BF < 0.01; 跳读率: BF = 0.06; 回视出比率: BF < 0.01; 回视入比率: BF = 35.45), 表明有较强证据支持一致预视条件相比于词类不违背预视条件, 对目标后字的注视时间更短, 跳读概率更高, 回视出概率更低, 但回视入概率没有显著差异。词类不违背与词类违背条件对比, 各指标 BF 均大于 1 (首次注视时间: BF = 56.60; 凝视时间: BF = 54.90; 回视路径时间: BF =

3.52; 跳读率: BF = 54.41; 回视出比率: BF = 1.76; 回视入比率: BF = 41.18), 表明在除回视出比率以外的所有指标上, 有中等强度证据支持虚无假设即词类违背与否并不影响对目标后字的注视时间和概率, 而在回视出比率上有较弱的证据支持虚无假设, 这一结果将在讨论中进行解释。采用不同的先验标准差(0.75, 1.25, 1.5)进行敏感性分析显示并不影响分析结果。

4 讨论

本研究使用边界范式, 通过操纵预视词与目标词的词类一致性, 探讨词类信息在副中央凹中的加工情况。对实验数据进行线性混合模型及贝叶斯分析发现: 词类违背条件和词类不违背条件下对目标词的注视时间和注视概率没有显著差异。这说明中文读者并不能意识到副中央凹词的词类违背情况, 即无法在副中央凹提取单字词的词类信息, 该结果倾向于支持序列注意转移模型(如 E-Z 读者模型), 即高水平信息(如词类信息)并不能在副中央凹得到加工。这是首次利用边界范式探讨中文词类信息在副中央凹加工的研究, 下面分别讨论这一结果及其对阅读眼动控制模型的支持与启示, 以及未来的研究方向。

4.1 中文词类信息的加工

本研究发现, 与拼音文字的读者不同, 中文读者无法在词汇加工的早期获取到词类信息, 表现为词类信息无法在副中央凹中得到加工, 说明中文词类(句法)的加工时间可能较晚。前文中已经提到, 虽然目前还没有利用边界范式直接探讨中文词类在副中央凹加工的研究, 但是有来自中央凹加工和 ERPs 的证据, 支持词类信息的加工发生在中文阅读的较晚阶段。

Yang 等人(2009)采用正常句子阅读范式探讨中文单字词语义和词类(句法)信息加工的时间进程, 结果发现, 语义违背和语义词类双违背条件在目标词早期指标上(首次注视时间、凝视时间)差异不显著, 将目标词和目标前字划为一个兴趣区进行分析时, 两种条件在后期指标上(回视路径时间、总注视时间)差异显著。这说明中文句法信息的加工发生于词汇加工的后期整合阶段, 且时间进程上并不早于语义信息的加工。

利用 ERP 技术对拼音文字词类信息加工时间进程的研究发现, 词类加工发生于词汇加工的最早期阶段, 词类违背会诱发 100~300 ms 的早期左前负波(ELAN) (Friederici et al., 1993; Gunter et al., 1999), 并会影响接下来的语义加工(N400 效应: 在中央顶叶 400 ms 左右出现的负波)和语义、句法整合与再分析(P600 效应: 在中央顶叶 600 ms 左右出现的正波)。拼音文字的词类信息加工不仅在时间进程上靠前, 而且影响力大于语义的加工。在德语被动句中进行此研究时发现, 句法违背条件成功诱发 ELAN 和 P600 效应, 但是 N400 效应没有出现(Friederici et al., 2004)。这说明词类加工的失败阻碍了语义的整合。然而与拼音文字不同, 在对中文词类信息的研究中, 没有出现 ELAN 的差异, 且语义违背和语义词类双违背情况下, 均出现了 N400 效应和 P600 效应(Yu & Zhang, 2008; Yang et al., 2015)。这说明, 对中文来说, 不论是时间上还是影响力上, 词类信息的加工并不优先于语义加工, 这与拼音文字有很大的不同。

我们试图从正字法独特性的角度对此进行进一步的解释。前言中已经提到, 英语单词具有丰富的屈折变化和派生变化, 这为词类信息的提取提供了便利, 即使不知道一个单词的语义也可以根据前缀、后缀先一步知道其句法类型, 即词类信息。这一特点是中文所不具备的, 中文的句法线索不明显, 词类并不先于语义得到加工。这也就解释了为什么英文读者可以从副中央凹提取到句法信息, 而中文读者不可以。另外, 从语义的角度来讲, 英文是表音符号, 并不能通过字形通达语义; 而中文被称为表意文字, 可以通过字形通达语义。汉字形声字, 是由两个字复合成体, 由表示意义范畴的义符(形旁)和表示声音类别的声符(声旁)构成。有研究发现, 义符对于汉字语义信息的提取具有重要意义: 当义符与词义一致时, 对于语义提取会起到促进作用(张积家 等, 1990; 张积家 等, 1991)。比如"拎"、"打、"、"抱"、"抢"部首都是"扌", 表示与手有关的动作。李文玲和张厚粲(1993)曾比较过图画与中、英文词汇范畴分类任务的反应时。结果发现, 中文的反应时慢于图画但快于英文。这说明, 相比于英文来说, 中文获取语义信息更加快速, 从字形上利用义符、部首通达到词义比英文的可能性更大(尽管并不是所有的汉字都具有表意性, 只有一部分比较明确)。这也就解释了为什么中文读者可以从副中央凹提取到语义信息, 而英文读者不可以。

综上, 作者认为: 中文字形与词类联系不强, 因此中文读者无法从副中央凹获得词类信息, 而英文词形与词类联系较强, 因此英文读者可以从副中

央凹获得词类信息; 两类语言系统字形与语义的联系与词性恰好相反, 因此效应也相反。这对于眼动控制模型的完善和推进具有一定启示, 我们将在下一小节进行讨论。

本研究中, 还对目标前字和目标后字进行了分析。结果发现, 不一致预视词导致了对目标前字更多的回视。这可能是因为当不一致预视词条件下的预视词进入到中央凹被注视加工, 目标词的变化导致更大的加工困难, 读者需要重读目标词(错误注视到了目标前字)或回看目标词之前的内容, 这就导致了对目标前字回视入比率的升高和回视时间的增长。另外, 一致预视效应溢出到目标后字上且效应较强, 可能的原因有三: 第一, 溢出效应的观点(Kliegl et al., 2006; Pollatsek et al., 2008), 即是由对目标词的不完全加工引起, 导致在目标后词上继续之前未完成的加工过程, 体现了对目标词后期的整合困难; 第二, 本研究采用的目标词为单字词, 且词频较高, 三种条件下跳读率均超过了 50%, 向目标词的眼跳有可能错误落到了目标后字上, 溢出的一致预视效应由目标词的加工差异引起; 第三, 可能是由预视代价(preview cost)导致的, 有研究发现预视效应包括预视效益和预视代价(Vasilev et al., 2020), 当边界变化, 与目标词有某些相关属性的预视词会促进对目标词的加工, 但是不合理的预视词也会阻碍加工, 且越不合理的预视造成的加工代价越大, 本实验中条件 2 下的预视词与目标词存在语义上的不合理, 这会带来加工代价, 可能导致注视时间的增长和溢出效应的变大。最后, 词类违背和词类不违背条件在目标后字上晚期指标上表现出一定的差异, 但回视路径时间和回视出比率的贝叶斯因子分别为 3.52、1.76, 至少较弱证据支持了虚无假设。在前人对于副中央凹的研究中较少有人关注晚期指标, 作者分析这一指标的目的是初步考察对副中央凹词汇的操纵是否会对后期整合产生影响, 未来还需要更多的证据进一步来探讨, 研究结果仍以目标词上的前期指标为主。

4.2　对眼动控制模型的启示

随着眼动控制模型的逐渐发展与完善, SAS 模型与 PG 模型虽然对于阅读中的眼动行为持有不同的观点, 但是他们都可以对大部分的眼动现象给出很好的解释。目前, 争论的焦点之一是读者能否在副中央凹加工高水平信息(语义、句法)。

对于 SAS 模型来说, 以 E-Z 读者模型为例, 高水平信息的加工是在词汇通达之后进行的。一个单词 n 想要加工到句法程度, 需要的时间等于 L_1、L_2 和 I 阶段之和。L_1 阶段受到词频、词长、预测性和视敏度的影响; L_2 阶段平均在 70 ms 左右; 而 I 阶段所需要的时间 t(I)服从平均数为 25 ms 的 γ 分布(标准差为 0.22I), 因此最快需要 25 ms。但是前面已经提到, 对 n+1 预加工的时间等于眼跳计划完成的时间减去对 n 的 L_1 和 L_2 阶段时间之和, 这个值大概在 80 ms 左右。可以看到, 对 n+1 的预视加工时间不足以允许对其加工到句法的程度。因此, E-Z 读者模型并不支持高水平信息在副中央凹中得以加工的观点。与之不同, 对 PG 模型来说, 以 SWIFT 模型为例, 高水平信息的加工不受到时间的限制, 只与激活程度有关。知觉广度内的注意资源是呈梯度分布的, 中央凹获得的注意最多, 然后向两侧梯度递减, 因此副中央凹中的单词与中央凹中的单词并行得到加工。当中央凹单词加工难度较低, 副中央凹获得的注意资源就越多, 此时对其加工的程度也越深, 可以加工到句法的程度。因此, SWIFT 模型支持高水平信息在副中央凹中得以加工和整合的观点。显然, 本研究的结果更倾向于支持 E-Z 读者模型。

虽然中文词类和英文语义信息并不能在副中央凹得到加工, 但是英文词类和中文语义信息却被证实可以在副中央凹被加工, 跨信息类型和跨语言间研究结果的差异凸显出了当前眼动控制模型的在灵活性和普适性上的局限。

从模型灵活性的角度而言, 目前对于语义和句法信息的加工模式仍在探索阶段, 并不能给出具体、完善的解释, 还需要进一步补充和发展。对于 E-Z 读者模型来说, 针对拼音文字词类信息在副中央凹得到加工的较稳定结果, 它尝试给出“强迫注视”的解释(Schotter & Leinenger, 2016; Schotter et al., 2018)。当眼跳计划进入到不可变阶段, 会执行这一眼跳, 但同时基于对副中央凹单词的加工制定新的眼跳计划, 此时就会表现出对副中央凹单词简短的“强迫注视” (臧传丽 等, 2019), 表现为类似于“句法预视效应”的眼动结果。然而, Schotter 等人(2014)利用计算机模拟 E-Z 读者模型阅读文本时发现, 仅有 8%的试次中将副中央凹单词加工到了 L_2 阶段, 说明高水平信息在副中央凹提取到的情况非常少, 可见“强迫注视”的观点并不能作为 E-Z 读者模型兼容高水平信息在副中央凹被加工的合理解释, 仍然倾向支持否定的观点。而对于 SWIFT 模型来说, 核心假设并不包括对句法等信息如何加工的

具体解释，统一采用加工程度来解释不同水平词汇信息加工的结果，也需要更多的实验证据来进行对此模块的补充和发展。

从模型普适性的角度而言，SAS 和 PG 模型都是在拼音文字的基础上提出的，而中文是与拼音文字差异较大的一种文字系统，所以用其来解释中文阅读眼动情况略显勉强。语义和词类等高水平信息在中、英文副中央凹加工的差异就是很好的证据。

为了解决模型灵活性和普适性的问题，作者认为或许可以把语言的独特性作为参数纳入模型的构建中。以本研究中文词类信息的加工为例，结合相关研究推测，从字形信息通达语言语义或词类的难度可以影响其加工的时间进程。其他可以从语言独特性角度解释的阅读现象的差异，都可以纳入模型独特性参数的考察范畴。未来需要大量的研究来探讨模型的灵活性和普适性问题。

5 结论

中文句子阅读中，读者无法从副中央凹提取到单字名词和动词的词类信息。

参 考 文 献

Angele, B., Laishley, A. E., Rayner, K., & Liversedge, S. P. (2014). The effect of high- and low-frequency previews and sentential fit on word skipping during reading. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 40*(4), 1181–1203.

Angele, B., & Rayner, K. (2013). Processing the in the parafovea: Are articles skipped automatically? *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 39*(2), 649–662.

Ashby, J., Treiman, R., Kessler, B., & Rayner, K. (2006). Vowel processing during silent reading: Evidence from eye movements. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 32*(2), 416–424.

Bai, X. J., Liu, J., Zang, C. L., Zhang, M. M., Guo, X. F., & Yan, G. L. (2011) The advance of parafoveal preview effects in Chinese reading. *Advances in Psychological Science, 19*(12), 1721–1729.

[白学军，刘娟，臧传丽，张慢慢，郭晓峰，闫国利. (2011). 中文阅读过程中的副中央凹预视效应. *心理科学进展, 19*(12), 1721–1729.]

Brothers, T., & Traxler, M. J. (2016). Anticipating syntax during reading: Evidence from the boundary change paradigm. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *42*(12), 1894–1906.

Cai, Q., & Byrsbert, M. (2010). Subtlex-ch: Chinese word and character frequencies based on film subtitles. *Plos One, 5*(6), Article e10729. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0010729

Engbert, R., Longtin, A., & Kliegl, R. (2002). A dynamical model of saccade generation in reading based on spatially distributed lexical processing. *Vision Research, 42*(5), 621–636.

Friederici, A. D., Gunter, T. C., Hahne, A., & Mauth, K. (2004). The relative timing of syntactic and semantic processes in sentence comprehension. *Neuroreport, 15*(1), 165–169.

Friederici, A. D., Pfeifer, E., & Hahne, A. (1993). Event-related brain potentials during natural speech processing: Effects of semantic, morphological and syntactic violations. *Cognitive Brain Research, 1*(3), 183–192.

Gao, F., & Xu, S. H. (2000). N-V shift and pragmatic inference. *Journal of Foreign Languages,* (2), 7–14.

[高芳，徐盛桓. (2000). 名动转用与语用推理. *外国语,* (2), 7–14.]

Gunter, T. C., Friederici, A. D., & Hahne, A. (1999). Brain responses during sentence reading: Visual input affects central processes. *Neuroreport, 10*(15), 3175–3178.

Hu, C. P., Kong, X. Z., Wagenmakers, E. -J., Ly, A., & Peng, K. P. (2018) The Bayes factor and its implementation in JASP: A practical primer. *Advances in Psychological Science, 26*(6), 951–965.

[胡传鹏，孔祥祯，Wagenmakers, E. -J., Ly, A., 彭凯平. (2018). 贝叶斯因子及其在 JASP 中的实现. *心理科学进展, 26*(6), 951–965.]

Kliegl, R., Nuthmann, A., & Engbert, R. (2006). Tracking the mind during reading: The influence of past, present, and future words on fixation durations. *Journal of Experimental Psychology: General, 135*(1), 12–35.

Li, W. L., & Zhang, H. C. (1993). The comparison of recognizing pictures, Chinese characters and English words. *Acta Psychologica Sinica, 25*(1), 24–30.

[李文玲，张厚粲. (1993). 图画与中、英文字词识别加工的比较. *心理学报, 25*(1), 24–30.]

Liu, F., & Wei, Y. (2005). Diachronic study of English inflection from the perspective of cognitive grammar. *Journal of China University of Mining & Technology (Social Sciences), 7*(1), 112–118.

[刘丰，魏渊. (2005). 英语屈折历时变化的认知语言学阐释. *中国矿业大学学报(社会科学版), 7*(1), 112–118.]

Liu, W. M., Inhoff, A. W., Ye, Y., & Wu, C. L. (2002). Use of parafoveally visible characters during the reading of Chinese sentences. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance, 28*(5), 1213–1227.

Nicenboim, B., & Vasishth, S., (2016). Statistical methods for linguistic research: Foundational ideas—part Ⅱ. *Language and Linguistics Compass, 10*(11), 591–613.

Pollatsek, A., Juhasz, B. J., Reichle, E. D., Machacek, D., & Rayner, K. (2008). Immediate and delayed effects of word frequency and word length on eye movements in reading: A reversed delayed effect of word length. *Journal of Experimental Psychology Human Perception & Performance, 34*(3), 726–750.

R Core Team. (2018). *R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria: R foundation for statistical computing*. Retrieved from https://www.r-project.org/

Rayner, K. (1975). The perceptual span and peripheral cues in reading. *Cognitive Psychology, 7*(1), 65–81.

Rayner, K. (2009). The Thirty Fifth Sir Frederick Bartlett Lecture: Eye movements and attention during reading, scene perception, and visual search. *Quarterly Journal of Experimental Psychology, 62*(8), 1457–1506.

Rayner, K., Balota, D. A., & Pollatsek, A. (1986). Against parafoveal semantic preprocessing during eye fixations in reading. *Canadian Journal of Psychology, 40*(4), 473–483.

Rayner, K., & Schotter, E. R. (2014). Semantic preview benefit in reading English: The effect of initial letter capitalization. *Journal of Experimental Psychology Human*

Perception and Performance, 40(4), 1617–1628.
Reichle, E. D., Warren, T., & Mcconnell, K. (2009). Using E-Z reader to model the effects of higher level language processing on eye movements during reading. *Psychonomic Bulletin & Review, 16*(1), 1–21.
Schotter, E. R. (2013). Synonyms provide semantic preview benefit in English. *Journal of Memory and Language, 69*(4), 619–633.
Schotter, E. R., & Jia, A. (2016). Semantic and plausibility preview benefit effects in English: Evidence from eye movements. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 42*(12), 1839–1866.
Schotter, E. R., Lee, M., Reiderman, M., & Rayner, K. (2015). The effect of contextual constraint on parafoveal processing in reading. *Journal of Memory and Language, 83*, 118–139.
Schotter, E. R., & Leinenger, M. (2016). Reversed preview benefit effects: Forced fixations emphasize the importance of parafoveal vision for efficient reading. *Journal of Experimental Psychology Human Perception and Performance, 42*(12), 2039–2067.
Schotter, E. R., Leinenger, M., & von der Malsburg, T. (2018). When your mind skips what your eyes fixate: How forced fixations lead to comprehension illusions in reading. *Psychonomic Bulletin & Review, 25*(5), 1884–1890.
Schotter, E. R., Reichle, E. D., & Rayner, K. (2014). Rethinking parafoveal processing in reading: Serial-attention models can account for semantic preview benefit and *N*+2 preview effects. *Visual Cognition*, *22*(3), 309–333.
Shen, J. X. (2009). My view of word classes in Chinese. *Linguistic Sciences, 8*(1), 1–22.
[沈家煊. (2009). 我看汉语的词类. *语言科学, 8*(1), 1–12.]
Snell, J., Meeter, M., & Grainger, J. (2017). Evidence for simultaneous syntactic processing of multiple words during reading. *Plos One, 12*(3), Article e0173720. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0173720
Snell, J., van Leipsig, S., Grainger, J., & Meeter, M. (2018). OB1-Reader: A model of word recognition and eye movements in text reading. *Psychological Review, 125*(6), 969–984.
The contemporary Chinese dictionary (6th). (2012). Beijing: The Commercial Press.
[*现代汉语词典(第 6 版)*. (2012) 北京: 商务印书馆.]
Vasilev, M. R., Yates, M., Prueitt, E., & Slattery, T. J. (2020). Parafoveal degradation during reading reduces preview costs only when it is not perceptually distinct. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology, 74*(2), 254–276.
Veldre, A., & Andrews, S. (2018). Beyond cloze probability: Parafoveal processing of semantic and syntactic information during reading. *Journal of Memory and Language, 100*, 1–17.
Veldre, A., Reichle, E. D., Wong, R., & Andrews, S. (2020). The effect of contextual plausibility on word skipping during reading. *Cognition, 197*, 104–184.
Yan, M., Richter, E. M., Shu, H., & Kliegl, R. (2009). Readers of Chinese extract semantic information from parafoveal words. *Psychonomic Bulletin & Review, 16*(3), 561–566.
Yan, G. L., Xiong, J. P., Zang, C. L., Yu, L. L., Cui, L., & Bai, X. J. (2013). Review of eye-movement measures in reading research. *Advances in Psychological Science, 21*(4), 589–589.
[闫国利, 熊建萍, 臧传丽, 余莉莉, 崔磊, 白学军. (2013). 阅读研究中的主要眼动指标评述. *心理科学进展, 21*(4), 589–589.]
Yan, M., Zhou, W., Shu, H., & Kliegl, R. (2012). Lexical and sublexical semantic preview benefits in Chinese reading. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 38*(4), 1069–1075.
Yang, J. M., Wang, S. P., Chen, H. C., & Rayner, K. (2009). The time course of semantic and syntactic processing in Chinese sentence comprehension: Evidence from eye movements. *Memory & Cognition, 37*(8), 1164–1176.
Yang, Y, Wu, F. Y, Zhou, X. L. (2015). Semantic processing persists despite anomalous syntactic category: ERP evidence from Chinese passive sentences. *Plos One, 10*(6), Article e0131936. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0131936
Yu, J., & Zhang, Y. X. (2008). When Chinese semantics meets failed syntax. *Neuroreport, 19*(7), 745–749.
Zang, C. L., Du, H., Bai, X. J., Yan, G. L., & Liversedge, S. P. (2019). Word skipping in Chinese reading: The role of high-frequency preview and syntactic felicity. *Journal of Experimental Psychology Learning Memory and Cognition, 46*(4), 603–620.
Zang, C. L., Lu, Z. J., & Zhang, Z. C. (2019). The role of semantic and syntactic information in parafoveal processing during reading. *Advances in Psychological Science, 27*(1), 11–19.
[臧传丽, 鹿子佳, 张志超. (2019). 语义和句法信息在副中央凹加工中的作用. *心理科学进展, 27*(1), 11–19.]
Zang, C. L., Zhang, M. M., Bai, X. J., Yan, G. L., Angele, B., & Liversedge, S. P. (2018). Skipping of the very-high-frequency structural particle de, in Chinese reading. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *71*(1), 152–160.
Zhang, J. J., Peng, D. L., & Zhang, H. C. (1991). The recovery of meaning of Chinese characters in the classifying process (Ⅱ). *Acta Psychologica Sinica, 23*(2), 139–144.
[张积家, 彭聃龄, 张厚粲. (1991). 分类过程中汉字的语义提取(Ⅱ). *心理学报, 23*(2), 139–144.]
Zhang, M. M., Zang, C. L., & Bai, X. J. (2020). The spatial extent and depth of parafoveal pre-processing during Chinese reading. *Advances in Psychological Science, 28*(6), 871–882.
[张慢慢, 臧传丽, 白学军. (2020). 中文阅读中副中央凹预加工的范围与程度. *心理科学进展, 28*(6), 871–882.]
Zhang, J. J., Zhang, H. C., & Peng, D. L. (1990). The recovery of meaning of Chinese characters in the classifying process (Ⅰ). *Acta Psychologica Sinica, 22*(4), 397–405.
[张积家, 张厚粲, 彭聃龄. (1990). 分类过程中汉字的语义提取(Ⅰ). *心理学报, 22*(4), 397–405.]

Parafoveal processing of word class information in Chinese reading

LU Zijia, FU Ying, ZHANG Manman, ZANG Chuanli, BAI Xuejun

(*Key Research Base of Humanities and Social Sciences of the Ministry of Education, Academy of Psychology and Behavior, Tianjin Normal University; Faculty of Psychology, Tianjin Normal University, Tianjin* 300387, *China*)

Abstract

A controversial issue in eye movement research investigating reading concerns whether high-level information (e.g., syntactic category information) of parafoveal words can be obtained prior to fixation. Researchers have demonstrated that readers could stably extract syntactic category information from the parafoveal words during English reading, and such findings are in favor of parallel graded processing model (e.g., SWIFT model). Unlike English, Chinese are not rich in inflectional or derivational indicators to specify words' syntactic properties. For example, there is no inflection with the verb 包装 (pack) no matter whether this action is going to happen or has already happened, nor whether this word is used as a verb or a noun. Therefore, parafoveal syntactic cues in Chinese may be limited relative to English, meaning that the extraction and use of such information when making syntactic commitments may be delayed. The present study was to explore whether parafoveal word class information could be extracted during Chinese reading.

Using the boundary paradigm (Rayner, 1975), we manipulated the syntactic category (word class) of preview words to form three conditions: identical preview, preview with the same word class as the target word, preview with the different word class as the target word. 120 college students participated in the experiment. Eye movements were recorded using an Eyelink 1000 eye-tracker, and the recorded results (reading time and fixation probability) are the dependent variables. Participants were asked to read 45 sentences and answered a multiple-choice comprehension question if any (about 30%). Although participants were only exposed to each target word once, all sentences appeared in all preview conditions across three counterbalanced lists.

The results showed that readers spent similar duration when they fixed the target word regardless of whether the word class of the preview word in the parafovea was same as the target word or not, and there was no significant difference in fixation probability between them. Supplementary Bayesian analysis supported the null hypothesis. Moreover, all fixation durations were significantly shorter for the identical condition than for the other two previews, skipping rate was higher for identical condition, and regression probabilities were lower for identical condition.

The findings in the present study suggest that it is difficult for Chinese readers to extract high-level syntactic category information from parafoveal words. Our results provide support for the sequential attention shift model (e.g., E-Z reader model), which in favor of that high-level information processing occurs in the integration stage (*I*). The results provide evidence for improving computational models of eye movements about how to process lexical high-level information during reading.

Key words Chinese reading, boundary paradigm, word class preview effect, computational models of eye movements